

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-307078

(43) 公開日 平成10年(1998)11月17日

(51) Int.Cl.⁴

識別記号

F I

G 0 1 M 11/02

G 0 1 M 11/02

K

11/00

11/00

T

審査請求 未請求 請求項の数1 OL (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-118197

(22) 出願日 平成9年(1997)5月8日

(71) 出願人 000000572

アンリツ株式会社

東京都港区南麻布5丁目10番27号

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 藤田 豊

東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリ

ツ株式会社内

(72) 発明者 古川 浩

東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリ

ツ株式会社内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

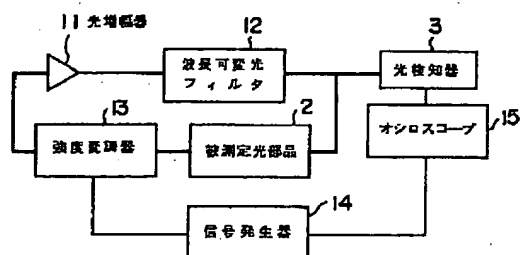
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、光通信システムの研究、開発および設計の段階で行われる光部品の波長分散特性の測定に関するものであって、特に分散値の絶対量が小さい光部品を精度よく測定する装置に係るものである。

【解決手段】 少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振可能なモードロックリングレーザを備え、このモードロックリングレーザのリング中に被測定光部品2を挿入する。モードロック発振を検知する第1の手段3、15と、モードロック発振のパルスの繰り返し周波数を検知するための第2の手段10、14とはリングに接続されていて、少なくとも2種類の既知の波長と、少なくとも2種類の既知の波長にそれぞれ対応して、第2の手段で検知された少なくとも2種類の周波数とに基づいて当該被測定光部品の波長分散特性を求める装置を提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振可能なモードロックリングレーザを備え、該モードロックリングレーザのリング中に被測定光部品を挿入することによって当該被測定光部品の波長分散特性を測定するためのモードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置であって、

前記リングに接続されていて、モードロック発振を検知する第1の手段(3、15)と、

該モードロック発振のパルスの繰り返し周波数を検知するための第2の手段(10、14)とを備え、

前記の少なくとも2種類の既知の波長と、前記の少なくとも2種類の既知の波長にそれぞれ対応して、前記第2の手段で検知された少なくとも2種類の周波数とに基づいて当該被測定光部品の波長分散特性を演算することを特徴とするモードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信システムの研究、開発および設計の段階で行われる光部品の波長分散特性の測定に係わり、特に分散値の絶対量が小さい光部品を精度よく測定するモードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 光の群速度が周波数又は波長によって変化する現象である波長分散の測定は以下の点から必要とされている。まず、光パルスをビットの0又は1で表す場合、伝送容量を向上させるために、光パルスの幅を細くする。しかし、波長分散のある光ファイバに光パルスを通過させると、スペクトルの一部は相対的に早く進み、別の一部は相対的に遅れて進み、結果的にパルスの形は崩れてしまうという問題が発生する。この波長分散の影響はパルス幅を細くすればするほど大きくなる。

【0003】 この場合、波長分散がきわめて小さい光ファイバを使用することにより波長分散の影響を少なくして光伝送を行うことも可能であるが、将来の光通信ではさらに細い光パルスをより広い波長帯域に亘って使用することが考えられているので、そのような小さい波長分散を精度よく決定することが必要である。また、そのような細い光パルスを広い波長帯域に亘って使用するときには、光ファイバだけでなく、伝送経路上に存在するレンズ、光増幅器、光アイソレータ等のさまざまな光部品が有する波長分散特性も無視できなくなるので、それらの波長分散特性を測定し、伝送経路に与える影響を把握しておく必要がある。

【0004】 一方、光パルスを圧縮する場合や、光ソリトン等の特殊なパルスを使用する場合には、波長分散が存在する部分を積極的に利用しており、波長分散特性を知っておくことは重要である。

【0005】 従来の波長分散特性の測定方式の例として、特公平2-33971号公報に掲載されたものがある。以下その内容を要約して説明する。この測定方式は、光源から出射された光を単一モード光ファイバに入射し、この単一モード光ファイバから出射された光を光電変換器で光電変換し、この光電変換器からの出力を光源の励起電流に帰還するようにループを構成する。そして、光源から出射された光の波長を変化させたときのループの発振周波数の変化から単一モード光ファイバの波長分散を求めている。

【0006】 この測定方式を図5に基づいて説明する。すなわち、光源である狭スペクトル幅の半導体レーザ1から出射された光を被測定光部品2に入射し、被測定光部品2から出射された光を光検知器3によって光の強度に比例した電気信号に変換する。この電気信号を帯域通過用のフィルタ4を介して増幅器5によって増幅し、振幅制限器6とコンデンサ7とを介して前述の半導体レーザ1に印加する。そして、この電気信号で半導体レーザ1の励起電流を制御することによってループを構成する。

【0007】 途中、半導体レーザ1から出射された光をビームスプリッタ(図示せず)で一部分岐させ、波長計8によって出射光の波長を測定する。半導体レーザ1は恒温装置(図示せず)によって一定の温度に保たれ、直流電源9より直流バイアス電流が供給され、さらに前述の増幅された電気信号がこの直流バイアス電流に重畳される。

【0008】 このとき、半導体レーザ1から出射された光が電気信号となって半導体レーザ1に帰還するループは一種の発振器となり、このループを光および電気信号が周回するときの周期に相当する周波数を基本周波数として発振が生じる。前述の増幅された電気信号を一部分岐させ、周波数カウンタ10等でこの発振周波数を測定する。この技術では発振周波数と基本周波数は一致するので、このようにして、被測定光部品2を含むループの基本周波数が測定されたことになる。

【0009】 次に、恒温装置で保たれる温度を温度制御器によって変更すると、半導体レーザ1によって出射される光の波長が変化するので、その波長を測定する。ここで被測定光部品2に波長分散、すなわち通過する光の波長によって群速度が異なる性質があると、波測定光部品2の光学的距離(=物理的な長さ×屈折率 以下、光学長という)が変わるので基本周波数も変化する。この技術では変化した発振周波数を測定することにより、変化した基本周波数を測定したことになる。

【0010】 ある波長λに対する基本周波数をfとすると、基本周波数fは理論的には次式のように表される。

$$f = 1 / (\tau + T) \quad \dots (1)$$

ここで、τは被測定光部品2を光が通過する群遅延時間、Tは上記ループ中の被測定光部品2以外の部分を光

および電気信号が通過する群遅延時間である。

【0011】次に、波長を λ から $\lambda + \Delta\lambda$ に変えたときに基本周波数が f から $f + \Delta f$ へ変化したとし、(1)式と同様に表すと、次のようになる。

$$f + \Delta f = 1 / (\tau + \Delta\tau + T) \quad \dots (2)$$

ここで $\Delta\tau$ は、被測定光部品2を波長 $\lambda + \Delta\lambda$ の光が通過する時間が波長 λ の光に対してどれだけ遅れるかを表す、群遅延時間差と呼ばれる量である。

【0012】(2) - (1) の操作を行うと、

$$D \equiv \Delta\tau / (L \times \Delta\lambda) = -\Delta f / (f^2 \times L \times \Delta\lambda) \quad \dots (5)$$

で表される。上式より、 f 、 Δf 、 L および $\Delta\lambda$ を測定することにより被測定光部品2の波長分散 D が計算される。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】以上、述べた従来技術は、光源から出射された光が被測定光部品2を経由して、光検知器3に入射されるまでは光であり、光検知器3で検知された後は、電気信号に変換され、電気信号として光源に帰還する構成を採用しているため、以下の問題が発生する。

【0015】すなわち、光検知器3、帯域通過用のフィルタ4、増幅器5及び振幅制限器6の周波数特性による誤差の問題である。ここで問題になる周波数特性とは電気信号の群遅延の周波数に対する依存性であり、光部品における波長分散特性に相当するものである。具体的には、光源の波長を変化させたときの測定において(2)式が成立せず、

$$f + \Delta f = 1 / (\tau + \Delta\tau + T + \Delta T) \quad \dots (6)$$

(6)式で示すように電気信号の群遅延時間差 ΔT が発生し、見掛け上、光の群遅延時間差 $\Delta\tau$ と電気信号の群遅延時間差 ΔT は分離できないので誤差の要因となる。被測定光部品2が長尺の光ファイバの場合などでは $\Delta\tau \gg \Delta T$ となつて ΔT の影響は無視できるが、被測定光部品2の波長分散が小さい場合には ΔT の影響が無視できない。特に、通常の帯域通過用のフィルタ4ではこの ΔT の周波数依存性が大きく、逆に周波数依存性を抑えたフィルタは阻止域の減衰特性が低下するので発振ループとしての安定な動作が損なわれる恐れがある、という問題がある。

【0016】上記の従来技術の他の課題として、基本周波数の変化量の測定精度の問題が挙げられる。例えば被測定光部品2として長さ100mの光ファイバを考えた場合、基本周波数は数MHz程度である。現在利用可能な周波数カウンタでは、この周波数帯域における周波数変化量は、1Hzの精度の測定も可能である。しかしながら、実際には電気的なノイズの影響などから、これだけの精度で周波数を測定するためには長時間に亘って測定したデータを平均化するなどの操作が必要であり、操作の煩雑化あるいは測定の長時間化はまぬがれない。

【0017】また、従来技術の別の課題として、装置を

$$* \Delta f \approx -\Delta\tau / (\tau + T)^2 = -\Delta\tau \times f^2 \quad \dots (3)$$

となる。したがって、 f および Δf を測定することにより、

$$\Delta\tau \approx -\Delta f / f^2 \quad \dots (4)$$

より、群遅延時間差 $\Delta\tau$ が計算される。

【0013】波長分散 D は単位長さあたりの群遅延時間差 $\Delta\tau$ を波長で微分したものである。被測定光部品2の物理的な長さを L とすると、波長分散 D は近似的に、

構成している各部品の調整の問題が挙げられる。例えば、従来技術の一つの例として帯域通過用のフィルタ4、増幅器5および振幅制限器6を用いる方法があるが、この場合はそれぞれ、通過帯域、増幅率および振幅制限値を調整しなければならず、測定の容易性、再現性および客観性を損なってしまう。振幅制限器6を用いない別の例もあるが、この場合でも帯域通過用のフィルタ4および増幅器5は必要であり、さらに合成器などの別の装置が必要になるので、上記の問題は解決されていない。

20

【0018】さらに、従来技術のもう一つの課題として、光波長の可変範囲の狭さが挙げられる。従来技術の例では、通常は光源として半導体レーザ1が用いられる。波長分散を測定するためには少なくとも2つの異なった波長の出力光が必要であるが、そのためには半導体レーザ1の温度を変化させている。半導体レーザ1は温度を変化させると出力光の波長も変化する性質を有しているが、波長の可変範囲は約3~5nm程度である。

【0019】しかしながら、波長分散の測定が必要とされる産業分野、たとえば光通信システムの設計においては、現状では50~100nmの波長範囲に亘って波長分散を測定する必要が生じてきている。これだけの波長範囲に亘って出力光を変化させることのできる波長可変レーザも存在はしているものの、その価格は極めて高く、一般的とはいえない。

【0020】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明においては以下の構成を採用した。なお、実施の形態で採用した符号を用いる。本発明の要旨は、少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振可能なモードロックリングレーザを備え、このモードロックリングレーザのリング中に被測定光部品2を挿入することによって被測定光部品2の波長分散特性を測定するための光部品の波長分散測定装置であつて、リングに接続されていて、モードロック発振を検知する第1の手段3、15と、モードロック発振のパルスの繰り返し周波数を検知するための第2の手段10、14とを備え、前記の少なくとも2種類の既知の波長と、前記の少なくとも2種類の既知の波長にそれぞれ対応して、前記第2の手段で検知された少なくとも2種類の周波数とに基づいて当該被

40

50

測定光部品の波長分散特性を演算することを特徴とするモードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置である。

【0021】すなわち、波長選択手段を備えたモードロックリングレーザのリング中に被測定光部品2を挿入し、モードロック発振するときのパルスの繰り返し周波数の波長に対する依存性を測定することによって、被測定光部品2の波長分散特性を求める。

*

$$Da \approx \Delta\tau / \Delta\lambda = -\Delta f / (f^2 \times \Delta\lambda) \quad \dots (7)$$

【0023】

【発明の実施の形態】以下本発明におけるモードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置の実施の形態を説明する。本発明は光部品の波長分散特性の測定において、モードロックリングレーザを用いたものであり、まずリングレーザおよびモードロックリングレーザの概念について説明し、次に個々の構成要素について説明する。

【0024】光増幅器の出力を光振幅器の入力に戻すリングを構成して光増幅器を駆動させ、出力の一部を取り出すと、通常のレーザと同様な光出力が得られる。これは光増幅器が放出する自然放出光と呼ばれるいわばノイズのような光がリングを周回するうちに光増幅器の出力限界まで増幅されるからである。このように構成された装置をリングレーザと呼ぶ。

【0025】上記のリングレーザの発振波長は、光増幅器の増幅効率が最も高くなる波長に固定されている。リングレーザに波長選択機能を持たせるには、波長選択手段を上記リング中に設ければよい。こうすると、光増幅器と波長選択手段のトータルとして増幅効率が最も高くなる波長でレーザ出力光が得られる。波長選択手段としては通常、波長可変光フィルタが用いられる。このように構成された装置もリングレーザと呼ばれるが、厳密には波長可変リングレーザである。

【0026】上記リングレーザ（波長可変リングレーザを含む）のリング中に光変調器または非線型光学媒質を設け、光がリングを周回する周波数（以下、基本周波数という）かまたはその整数倍の周波数で変調を与えると、パルス列状の光出力が得られる。このような装置をモードロックリングレーザと呼び、また、この発振状態をモードロック発振と呼ぶ。

【0027】ここで、図2を用いてモードロック発振と光パルス列の関係について説明する。図2(a)は時間領域における光パルス列波形を示しており、縦軸は光の強度、横軸は時間である。また、図2(b)は前記光パルス列のフーリエ変換を示しており、縦軸は光のパワー、横軸は光周波数である。

【0028】図2(b)に示されているように、光パルス列のフーリエ変換は、中心となる光周波数の周りに側帯波（モード）と呼ばれる一定の変調周波数間隔の光が規則的に並ぶ形をしている。また、各モードの位相は一

*【0022】なお、被測定光部品2が例えば光アイソレータのように複数の種類の光部品で構成されている場合は、単位長さ当りの量である波長分散の定義は被測定光部品の分散特性の表現には不便なときがある。よって、本明細書では光部品全体の群遅延時間差の波長微分を全分散量と定義して用いる。すなわち、全分散量をDaとすると(4)式を用いて近似的に(7)式で表される。

10 定の関係を保っている。なお、変調周波数は、時間領域で見た光パルス列の繰り返し周波数に一致する。

【0029】ところで時間領域の波形とその（位相情報を含めた）フーリエ変換は1対1の関係にあるので、光周波数領域において、ある中心光周波数の周りに多くのモードを発生させて、それらのモード間の位相を一定の関係を保つように固定させれば、その光を時間領域で見ると光パルス列になっている。これがモードロック発振である。モードロック発振を実現させるためには、基本周波数か又はその整数倍の周波数で光を変調させればよい。

20 【0030】モードロックリングレーザは、さらに、能動型モードロックリングレーザと受動型モードロックリングレーザとに大別される。能動型と受動型の違いは、変調のための装置として光変調器を用いるか非線型光学媒質を用いるかの違いであり、詳細は後述する。

【0031】また、リングレーザ自体では、原理的には、そのリング中を伝わる光は右回りと左回りの両方が同時に存在可能である。モードロックリングレーザは通常、光パルス列を得る手段として広く利用されている。しかし、本発明ではモードロックリングレーザを基本周波数を知る装置として利用する。通常のモードロックリングレーザは波長選択手段は必ずしも必要ではないが、本発明では、少なくとも2種類の波長で選択的にモードロック発振させる必要があることから、そのための波長選択手段は必須の構成要素である。また、本発明では、被測定光部品がモードロックリングレーザのリング中に挿入される必要がある。

【0032】以下、図1を用いてモードロックリングレーザを構成する各装置について説明する。光増幅器11は入力された光の波長や位相は保ったまま増幅を約10倍から1000倍に増幅する装置である。現状の技術水準では、光増幅器11は大別してファイバアンプと半導体アンプの2種類がある。

【0033】ファイバアンプは通常の光ファイバに希土類元素を添加したもので、励起光と呼ばれる特定の波長の光を供給することにより入力光の振幅を増幅させる作用を有する。増幅率は励起光の強さに依存するが、1000倍以上の増幅率を得ることも可能である。増幅作用が得られる入力光の波長帯域は、添加される希土類元素にもよるが、一般に50nm程度である。

【0034】一方、半導体アンプは通常の半導体レーザの両端面に無反射膜を蒸着したもので、励起電流を供給することにより入力光の振幅を増幅させる作用を有する。増幅率は励起電流に依存するが、一般に10~5.0倍程度である。しかしながら、増幅作用が得られる帯域は一般に100nm程度とファイバアンプに対して広い。

【0035】本発明では、モードロックリングレーザの光増幅器11としてファイバアンプ、半導体アンプはもちろん、光を増幅する作用を有するものであれば全て、

【0036】本発明では、ある波長 λ と、それに対する基本周波数 f と、変化後の波長 $\lambda + \Delta\lambda$ と、それに対する基本周波数 $f + \Delta f$ とから波長分散を求める方式を採用している。したがって、モードロックリングレーザが少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振することが必要とされる。

【0037】この波長選択手段としては通常、波長可変光フィルタ12が用いられる。光フィルタは特定の波長帯域の光のみを通過させ、他の光を吸収または反射して通過させない装置である。通過帯域の選択機構として、測定者が手動でダイヤル等を動かすもの、パソコン等で電氣的に制御するもの等がある。帯域幅は、1~3nm程度が適当である。この波長可変光フィルタ12を光増幅器11と組み合わせて使用することにより、所望の波長の光を得ることができる。

【0038】また、本発明の測定目的においては少なくとも2種類の波長を選択的に設定できればよいので、波長可変光フィルタ12に限られず通過帯域が固定された光フィルタを少なくとも2種類用意し（通過帯域は相互に異なるとする）、それらをスイッチ等で切り替えるような手段を用意しても、波長選択手段として利用可能である。図1では、波長選択手段として波長可変光フィルタを使用している。

【0039】波長選択手段である波長可変光フィルタ12では、通常、設定されている通過帯域の中心波長を知る手段が用意されており、後述する例ではこの手段で得られる波長をモードロック発振の発振波長として使用する。波長可変光フィルタ12に通過帯域の中心波長を知る手段が用意されていない場合、又は、より高精度に発振波長を知るためには、出力光を一部分岐させて波長計（図示せず）により発振波長を測定すればよい。

【0040】光変調器は、それを通過する光の強度、周波数または位相を変化させる装置であり、それぞれ強度変調器、周波数変調器、位相変調器と区別される。モードロックリングレーザを構成するためには、強度変調器と位相変調器が特に有用である。図1では光変調器として強度変調器13を使用している。

【0041】これら強度変調器13または位相変調器を用いたモードロックリングレーザは能動型モードロック

リングレーザと呼ばれる。能動型モードロックリングレーザでは変調器に変調信号を供給する外部の信号源が必要である。信号源に要求されることは、正弦波信号が出力されること、およびその周波数が可変であることである。なお、このような項目は特に特別なものでなく、一般的な信号発生器が利用可能である。正弦波信号の周波数がリングの基本周波数またはその整数倍のときに、モードロック発振が生じる。

【0042】光変調器の代わりに非線型光学媒質を用いたモードロックリングレーザは受動型モードロックリングレーザと呼ばれる。非線型光学媒質とは、通過する光の強度などによって吸収や屈折率などの特性が変化する媒質のことをいう。このような媒質を光パルスが通過する際は、パルス波形に応じて強度変調または位相変調が自動的に生じるので、能動型モードロックリングレーザにおける光変調器と同様の効果が得られる。

【0043】受動型モードロックリングレーザでは光パルスが自分自身を変調するので、能動型モードロックリングレーザで必要な外部の変調信号は受動型モードロックリングレーザでは不要である。なお、この場合、光パルス列の繰り返し周波数は自動的にリングの基本周波数に一致する。

【0044】非線型光学媒質としては、可飽和吸収体がもっとも一般的に用いられる。可飽和吸収体とは、入射する光の強度がある程度大きくなると吸収率が小さくなり（これを吸収が飽和するという）、透過率が大きくなるような性質を示す物質や装置のことをいう。例えば、光半導体アンプの励起電流を増幅作用が得られる電流値以下に抑えることにより、可飽和吸収体として使用できる。可飽和吸収体を光パルスが通過するときを考える。光パルスが入射してしばらくは吸収が大きく、通過する光の強度は小さい。次に、光パルスが最大強度に近づくと、吸収が飽和し、通過する光の強度は急激に増大する。光パルスが最大強度から減少に転じるときは、これと逆の効果が生じて、通過する光の強度は急激に減少する。

【0045】したがって、結果的に通過した光パルスは通過前に比べて幅の狭い鋭いパルスになっている。このことは、能動型モードロックリングレーザにおいて光変調器として強度変調器13を使用した場合と同様の効果をもたらす。なお、受動型モードロックリングレーザを用いた装置の具体的な構成は後述する。

【0046】モードロックリングレーザのリング中に挿入される被測定光部品2としては、原理的には光が通過するものであればどのようなものでも測定可能である。特に、本発明は基本的に実長または実寸法の小さいものの波長分散の測定について優位性を発揮する。具体的には、100m以下の光ファイバ、レンズ、光アンプ、光変調器、光フィルタ、偏光子などが挙げられる。

【0047】さて、以上で述べた光増幅器11、波長選

択手段である波長可変光フィルタ12、光変調器である強度変調器13または非線型光学媒質で光が周回するリングを作るように結合させるには、光ファイバを用いてもよいし、レンズ、ミラー等を用いて空間結合させてもよい。

【0048】また、このリング中に挿入される被測定光部品2を含めてそれぞれの配置は、原理的には任意の順番での配置が可能である。ただし、実際には各構成要素それぞれの特性に依存して、最適な配置が存在することもある。例えば、一般的に光増幅器11の出力には自然放出光が付加されているので、光増幅器11の直後には波長選択手段である波長可変光フィルタ12を接続することが望ましい。また、波長選択手段である波長可変光フィルタ12の直後には、他に条件がなければ、被測定光部品2と、光変調器である強度変調器13（または非線型光学媒質）とを比較し、その中で最大許容光入力の大きい方を接続することが望ましい。

【0049】以上述べてきたように、少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振可能なモードロックリングレーザを備え、モードロックリングレーザのリング中に測定対象である被測定光部品2を挿入している。この構成にモードロック発振を検知する第1の手段と、モードロック発振のパルスの繰り返し周波数を検知するための第2の手段とを接続することにより波長分散特性を測定する装置が完成する。

【0050】引き続き図1を用いて説明する。図1はモードロックリングレーザとして能動型モードロックリングレーザを使用した例である。上述のように、波長選択手段として波長可変光フィルタ12を用いている。また、光変調器としては強度変調器13を用いている。

【0051】モードロック発振の特性を利用して、基本周波数を検知する方法、すなわち、モードロック発振のパルスの繰り返し周波数を検知するための第2の手段について説明する。

【0052】能動型モードロックリングレーザを使用した場合には、その方法は2通りある。モードロック発振のパルスの繰り返し周波数、すなわち、出力光パルスの繰り返し周波数を測定する第1の方法と、光変調器の変調周波数を調べる第2の方法である。出力光パルスの繰り返し周波数と、光変調器の変調周波数は完全に一致し、両者は同じ結果を与えるので変調周波数を調べることは繰り返し周波数を測定することと同義である。

【0053】出力光パルスの繰り返し周波数を測定する第1の方法は、光変調器の代わりに非線型光学媒質を用いた受動型モードロックリングレーザを利用した場合にも適用可能であり、この点でより一般的な方法であるといえる。

【0054】一方、光変調器の変調周波数を調べる第2の方法は、能動型モードロックリングレーザの利用例にその適用が限定されるものの、特別な追加装置を必要と

しないので、引き続き図1の説明では第2の方法、すなわち光変調器の変調周波数を調べる方法について述べる。

【0055】光変調器である強度変調器13の変調周波数を調べる方法では、外部の信号源、図1の例では信号発生器14が、その時点で出力されている信号の周波数を検知する手段を有していることを前提とするが、そのような手段は通常の信号源には普通に備わっているものである。したがって、図1の例では、信号発生器14がモードロック発振のパルスの繰り返し周波数を検知するための第2の手段である。このとき、信号周波数を調節し、後に述べるような手段によってモードロック発振していることが確認できれば、その時点の信号源の信号周波数が光変調器の変調周波数であり、この周波数はまた、モードロックリングレーザの基本周波数またはその整数倍である。変調周波数が基本周波数の整数倍（ n 倍とする）であったときには、さらに変調周波数を変更して $n+1$ 倍または $n-1$ 倍の変調周波数を調べれば、その差が基本周波数である。こうして得られた基本周波数は、(1)式の f にほかならない。

【0056】以下、モードロック発振を検知する第1の手段について説明する。通常は、光検知器3及びそれに接続されたオシロスコープ15を用いる。ただし、この手段にもさまざまなものがあり、必ずしも以下の例に限定されない。

【0057】モードロック発振を検知する第1の手段は、光増幅器11、波長選択手段である波長可変光フィルタ12、被測定光部品2および光変調器である強度変調器13または非線型光学媒質である可飽和吸収体とから構成されるリングに接続されている。そして、このリング中の光は一部が取り出され、光検知器3に導かれる。光をリングから一部取り出すためには、光ファイバで結合した場合は光カブラが、空間結合の場合はハーフミラーやビームスプリッタなどが利用できる（図示せず）。光検知器3の出力信号を通常のオシロスコープ15などで観察する。モードロック発振しているときは、上記出力信号は光パルス列に対応してパルス信号となるので、容易に判別できる。

【0058】オシロスコープ15には、外部トリガ信号を必要とするものと、必要としないものの2種類がある。能動型モードロックリングレーザでは外部の信号源として信号発生器14が存在するので、この信号を外部トリガ信号として利用できる。図1の例では、外部トリガ信号を必要とする種類のオシロスコープ15を使用した例である。

【0059】また、モードロック発振を検知する他の手段として、光検知器3およびオシロスコープ15を用いる代りに、ストリークカメラを用いて光パルス列が発生しているかどうかを直接観察してもよい（図示せず）。

【0060】

【実施例】以下、本発明におけるモードロックリングレーザを用いた光部品2の波長分散測定装置の具体的実施例を説明する。

(第1実施例) 図1の測定装置に比較してさらに高精度に基本周波数を測定するための第1実施例を図3に示す。

【0061】第1実施例においては、図3に示すように、光検知器3の出力信号を一部分岐させ、低域通過フィルタ16を介してパワーメータ17に導く。低域通過フィルタ16の通過帯域は、光増幅器11の緩和振動周波数と呼ばれる周波数であるおよそ数10kHzを通過させるように設定する。パワーメータ17によって測定される低域のパワーは、完全なモードロック発振のときに最小になることが知られている(高良ほか、緩和振動周波数成分抑圧によるモード同期Er添加ファイバレーザの安定化法、1995年電子情報通信学会総大会、B-1156)。こうして完全なモードロック発振の状態になるように変調周波数を調整すれば、容易に基本周波数を1Hzの精度で測定することができる。なお、図3のその他の構成は図1の測定装置と全く同様である。

【0062】以上で説明したようにして、ある光波長λに対応する基本周波数fが測定されたとする。次に、波長選択手段により、リング内を周回する光の波長をλ+Δλに変化させる。従来技術における測定方法と同じ原理で、被測定光部品2に波長分散があれば、被測定光部品2の光波長が変わり、基本周波数が変化する。変化した基本周波数f+Δfを測定すれば、以下、従来技術と同様にして(5)式により波長分散が(または、(7)式により全分散量が)求められる。

【0063】すなわち、少なくとも2種類の既知の波長と、これらの2種類の既知の波長に対応してモードロック発振のパルスの繰り返し周波数を検知するための第2の手段により検知された、波長の種類に対応した周波数とから、被測定光部品2の波長分散特性を求められる。

【0064】ここで、(4)式で得られた群遅延時間差Δτ

$$D \approx -(\Delta f_2 + \Delta f_1) / (2 \times f^2 \times L \times \Delta \lambda) \quad \dots (8)$$

で計算される。また全分散量Daは、(7)式に対応し ※ ※で、

$$Da \approx -(\Delta f_2 + \Delta f_1) / (2 \times f^2 \times \Delta \lambda) \quad \dots (9)$$

で計算される。

【0069】なお、2組の測定がある場合の(5)式または(7)式や、3組の測定がある場合の(8)式または(9)式、さらに多数の測定がある場合のそれに対応する計算式によって、波長分散または全分散量を計算する手段は、測定後に測定者が計算する方式でもよいが、測定装置に組み込むことも当然に可能である。

【0070】(第2実施例) 図4は受動型のモードロックリングレーザを用いた光部品2の波長分散測定装置の第2実施例である。

【0071】この第2実施例では非線型光学媒質として可飽和吸収体18を用いている。モードロック発振を検

知する第1の手段としてオシロスコープ15を用いる場

合、外部トリガ信号が利用できないので、外部トリガ信号を必要としない種類のオシロスコープ15を用いる必要がある。

【0065】被測定光部品2の入射端と出射端を結合させて非測定光部品2を除いたモードロックリングレーザを構成し、上記と同様の測定を行なう。このときの(4)式で得られた値はΔτ₁であり、したがって、実際に被測定光部品を挿入した時に得られたΔτからこのΔτ₁を差し引くことにより、Δτ₂が求められる。Δτ₂および(5)式より、被測定光部品2のみの波長分散が得られる。

【0066】なお、従来技術において同様に非測定光部品2の入射端と出力端を短絡させても、全体の光学長が短くなったことによって本来の測定時より繰り返し周波数が高くなるので電気回路の群遅延時間特性を校正することができない。

【0067】ところで、従来技術の項目でも述べたように、波長分散は数学的には群遅延時間差の波長に対する微分で表される。この微分量が直接得られるような波長分散の測定方法も存在し、その方法を用いてもよいが、本発明の実施の形態では、直接的に測定されるのは群遅延時間差である。ここまで述べられてきた方法は、群遅延時間差の波長に対する微分を差分に置き換えた近似式により、かつ、2種類の異なる波長における測定のみから波長分散を求める方法である。

【0068】しかし、群遅延時間差(あるいは基本周波数)を測定する波長の数を2種類より多くし、それぞれの波長に対応する基本周波数をそれぞれ測定すれば、近似の精度が向上する。例えば、3種類の波長λ-Δλ、λおよびλ+Δλにそれぞれ対応して、基本周波数がf-Δf₁、fおよびf+Δf₁と測定されたとする。この3組の測定値を2次関数で近似すれば、波長λにおける被測定光部品2の波長分散Dは、

知する第1の手段としてオシロスコープ15を用いる場合、外部トリガ信号が利用できないので、外部トリガ信号を必要としない種類のオシロスコープ15を用いる必要がある。

【0072】また、モードロック発振のパルスの繰り返し周波数を検知するための第2の手段、すなわち基本周波数を測定する手段としては、出力光パルスの繰り返し周波数を測定する方法により行なう。そのためには、光検知器3で光パルス列を電気信号に変えた後、2分岐させてオシロスコープ15等で波形を観察するとともに、周波数カウンタ10等を用いて電気パルス列の繰り返し周波数を測定する。前述されているとおり、この繰り返し

し周波数はモードロックリングレーザのリングの基本周波数に一致する。以下、波長の変更と波長分散の計算方法は実施の形態及び第1の実施例における説明と同じである。

【0073】

【発明の効果】本発明のモードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置においては、リングを構成する部分を光のみで構成したので、従来技術における光検知器3、帯域通過用のフィルタ4、増幅器5及び振幅制限器6における電気信号の周波数応答特性、特に群遅延の周波数に対する依存性による誤差は発生しない。

【0074】本発明では従来技術に対して、波長可変光フィルタ12や強度変調器13などの光部品が追加されており、これらが測定上、無視できない波長分散特性を持っている場合もあるが、その際は校正の項で説明されている手順に従えば被測定光部品2だけの厳密な波長分散が求められる。これに対し従来技術では電気信号の周波数応答特性の問題を回避するのは非常に難しい。

【0075】次に、モードロックリングレーザの変調周波数は、光の周回の基本周波数にきわめて敏感である。上記のような手段を用いれば、周波数変化量 Δf を1Hzの精度で測定することは容易である。従来技術で同程度の測定精度を達成するためには、多数の測定値の平均化などの手法を用いなければならず、測定に時間がかかっていた。本発明ではこのような高精度の測定を容易に短時間内に行うことができる。

【0076】また、本発明は、リング部分をすべて光で周回させる方式であることによる別の効果も有している。すなわち、従来技術の課題であった、電気部の各部品の調整が不要になり、測定の容易性および客観性が増している。

【0077】さらに、本発明では光増幅器11を用いていることにより、従来技術に対して光波長の変動範囲が広いという効果を有している。光増幅器11の説明で述べられているとおり、適当な光フィルタと組み合わせれば、50～100nmの光波長の変動範囲が得られる。この特性は、光通信システムの設計などにおいて十分な*

*可変範囲であるといえる。被測定光部品2に入射する光電力についても、光増幅器11の利得を調整することにより変更する事ができ、より実際の使用条件に近い形で測定が可能である。

【0078】当然に群遅延特性の測定も可能である。すなわち、少なくとも2つの異なる波長において基本周波数 f および $f + \Delta f$ を測定することにより、(4)式から群遅延時間差が計算される。群遅延測定における従来技術に対する効果は、波長分散測定における本発明の従来技術に対する効果と同様の点を指摘することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態に係わるモードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置を示す図である。

【図2】 モードロック発振と光パルス列の関係を説明するための図である。

【図3】 本発明における基本周波数の高精度測定が実現できる第1実施例に係わる光部品の波長分散測定装置を示す図である。例を示す図である。

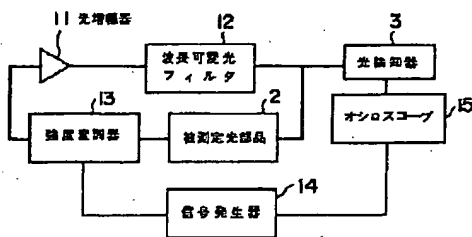
【図4】 本発明における受動型のモードロックリングレーザを用いた第2実施例に係わるモードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置を示す図である。

【図5】 従来の光部品の波長分散測定装置を示す図である。

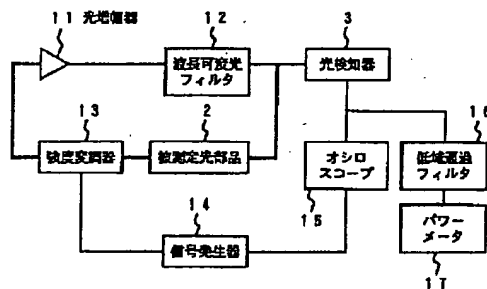
【符号の説明】

- 2 被測定光部品
- 3 光検知器
- 10 周波数カウンタ
- 11 光増幅器
- 12 波長可変光フィルタ
- 13 強度変調器
- 14 信号発生器
- 15 オシロスコープ
- 16 低域通過フィルタ
- 17 パワーメータ
- 18 可飽和吸収体

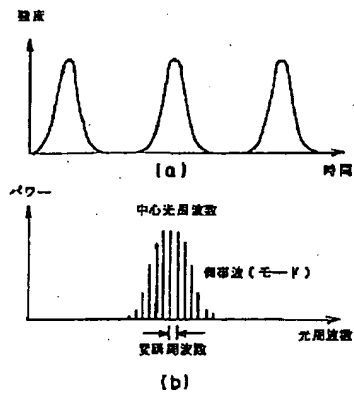
【図1】



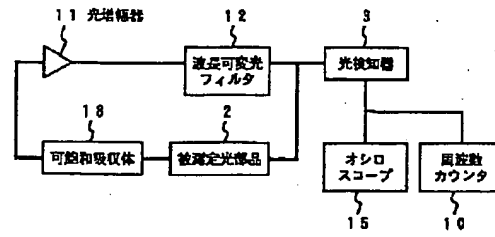
【図3】



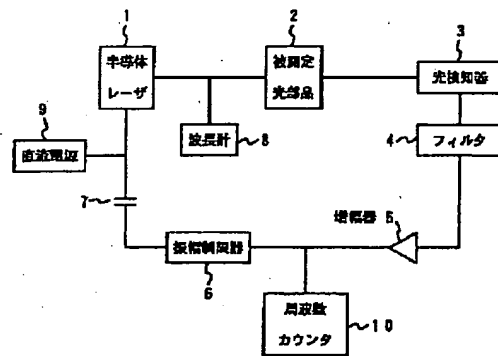
【図2】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 斉藤 崇記
東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリ
ツ株式会社内
(72)発明者 高良 秀彦
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 川西 悟基
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内
(72)発明者 猿渡 正俊
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It has alternatively the mode locking ring laser which can be oscillated on at least two kinds of known wavelength. It is the wavelength dispersion measuring device of the optical components using the mode locking ring laser for measuring the wavelength dispersion property of the measuring beam-ed components concerned by inserting measuring beam-ed components into the ring of this mode locking ring laser. 1st means to be connected to said ring and to detect a mode locking oscillation (3 15). It has the 2nd means (10 14) for detecting the repeat frequency of the pulse of this mode locking oscillation. At least two kinds of aforementioned known wavelength, The wavelength dispersion measuring device of the optical components using the mode locking ring laser characterized by calculating the wavelength dispersion property of the measuring beam-ed components concerned based on at least two kinds of frequencies detected with said 2nd means respectively corresponding to at least two kinds of aforementioned known wavelength.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the wavelength dispersion measuring device of the optical components using the mode locking ring laser to which especially the absolute magnitude of a variance measures small optical components with a sufficient precision with respect to the measurement of the wavelength dispersion property of optical components performed in the phase of research of an optical transmission system, development, and a design.

[0002]

[Description of the Prior Art] Measurement of the wavelength dispersion which is the phenomenon in which the group velocity of light changes with a frequency or wavelength is needed from the following points. First, when it expresses a light pulse with 0 of a bit, or 1, in order to raise transmission capacity, width of face of a light pulse is made thin. However, if an optical fiber with wavelength dispersion is made to pass a light pulse, some spectrums will advance early relatively, another part will progress behind time relatively, and the problem of collapsing will generate a pulse form as a result. The effect of this wavelength dispersion becomes larger, as pulse width is made thin.

[0003] In this case, in future optical communication, although it is also possible to lessen effect of wavelength dispersion and to perform optical transmission, when wavelength dispersion uses a very small optical fiber, since it considers continuing and using a still thinner light pulse for a larger wavelength band, it is required to opt for such small wavelength dispersion with a sufficient precision. Moreover, since it becomes impossible to disregard not only an optical fiber but the wavelength dispersion property which various optical components, such as a lens which exists on a transmission route, an optical amplifier, and an optical isolator, have when continuing and using such a thin light pulse for a large wavelength band, it is necessary to measure those wavelength dispersion properties and to grasp the effect which it has on a transmission route.

[0004] It is important to use positively the part in which wavelength dispersion exists, and to know a wavelength dispersion property on the other hand, when compressing a light pulse, or in using special pulses, such as an optical soliton.

[0005] There are some which were carried by JP,2-33971,B as an example of the measurement method of the conventional wavelength dispersion property. The contents are summarized and explained below. This measurement method carries out photo electric conversion of the light by which carried out incidence of the light by which outgoing radiation was carried out from the light source to single-mode optical fiber, and outgoing radiation was carried out from this single-mode optical fiber with an optical/electrical converter, and it constitutes a loop formation so that the output from this optical/electrical converter may be returned to the exciting current of the light source. And it is asking for the wavelength dispersion of single-mode optical fiber from change of the oscillation frequency of the loop formation when changing the wavelength of the light by which outgoing radiation was carried out from the light source.

[0006] This measurement method is explained based on drawing 5. That is, incidence of the light by which outgoing radiation was carried out from the semiconductor laser 1 of the ** spectral band width which is the light source is carried out to the measuring beam-ed components 2, and the light by which outgoing radiation was carried out is changed into the electrical signal which is proportional to luminous intensity with an optical detector 3 from the measuring beam-ed components 2. This electrical signal is amplified with an amplifier 5 through the filter 4 for band passes, and it is impressed by the above-mentioned semiconductor laser 1 through an amplitude limiter 6 and a capacitor 7. And a loop formation is constituted by controlling the exciting current of semiconductor laser 1 by this electrical signal.

[0007] The middle, the light by which outgoing radiation was carried out from semiconductor laser 1 is branched in part by the beam splitter (not shown), and the wavelength of outgoing radiation light is measured with a wavemeter 8. It is maintained at fixed temperature by the thermostat (not shown), a direct-current bias current is supplied from DC power supply 9, and semiconductor laser 1 is superimposed on the electrical signal with which the above-mentioned was amplified further by this direct-current bias current.

[0008] At this time, the light by which outgoing radiation was carried out serves as an electrical signal from semiconductor laser 1, the loop formation which returns to semiconductor laser 1 serves as a kind of oscillator, and an oscillation produces it by making the frequency equivalent to a period in case light and an electrical signal go this loop formation around into fundamental frequency. A part of electrical signal with which the above-mentioned was amplified is branched, and this oscillation frequency is measured in frequency counter 10 grade. Since an oscillation frequency and fundamental frequency are in agreement with this technique, it means that the fundamental frequency of the loop formation containing the measuring beam-ed components 2 was measured.

[0009] Next, if the temperature maintained with a thermostat is changed with a temperature selector, since the wavelength of the light in which outgoing radiation is carried out by semiconductor laser 1 will change, the wavelength is measured. If wavelength dispersion, i.e., the property in which group velocity changes with wavelength of light to pass, is in the measuring beam-ed components 2 here, since the optical distance (= it is called optical length below physical die-length \times refractive-index) of the wave measuring beam components 2 will change, fundamental frequency also changes. With this technique, it means measuring the fundamental frequency which changed by measuring the oscillation frequency which changed.

[0010] When fundamental frequency to a certain wavelength λ is set to f , fundamental frequency f is theoretically expressed like a degree type.

$f = 1/(\tau + T)$ — (1) Here, the group delay to which, as for τ , light passes the measuring beam-ed components 2, and T are group delays to which light and an electrical signal pass parts other than measuring beam-ed components 2 in the above-mentioned loop formation.

[0011] Next, when wavelength is changed into $\lambda + \Delta\lambda$ from λ , fundamental frequency presupposes that it changed to $f + \Delta f$ from f , and it is (1). It is as follows when expressed a formula similarly.

$f = 1/(\tau + \Delta\tau + T)$ of $f + \Delta f$ — (2) $\Delta\tau$ is an amount showing which is in the time amount to which the light of wavelength $\lambda + \Delta\lambda$ passes the measuring beam-ed components 2 to the light of wavelength λ called a group delay difference here.

[0012] (2) - (1) When it is operated, they are $\Delta f \times (\tau + T) = \Delta\tau \times f^2$. — It is set to (3). Therefore, it is $\Delta\tau = \Delta f / f^2$ by measuring f and Δf . — Group delay difference $\Delta\tau$ is calculated from (4).

[0013] Wavelength dispersion D differentiates group delay difference $\Delta\tau$ per unit length on wavelength. If the physical die length of the measuring beam-ed components 2 is set to L , wavelength dispersion D is on an approximation target. $D \times \Delta\tau / (L \times \Delta\lambda) = \Delta f / (f^2 \times L \times \Delta\lambda)$ — (5) It is expressed. From an upper type, the wavelength dispersion D of the measuring beam-ed components 2 is calculated by measuring f , Δf , L , and $\Delta\lambda$.

[0014]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As mentioned above, the expressed conventional technique is light until incidence of the light by which outgoing radiation was carried out is carried out to an optical detector 3 via the measuring beam-ed components 2 from the light source, and since the configuration which is changed into an electrical signal and returns to the light source as an electrical signal after being detected with an optical detector 3 is used for it, the following problems generate it.

[0015] That is, it is the problem of the error by the frequency characteristics of an optical detector 3, the filter 4 for band passes, amplifier 5, and an amplitude limiter 6. The frequency characteristics which become a problem here are dependencies over the frequency of the group delay of an electrical signal, and it is equivalent to the wavelength dispersion property in optical components. In the measurement when changing the wavelength of the light source, (2) types are not specifically materialized, but it is $f = 1/(\tau + \Delta\tau + T + \Delta T)$ of $f + \Delta f$. — (6)

(6) As shown in a formula, group delay difference ΔT of an electrical signal occurs, and seemingly, since it is inseparable, group delay difference $\Delta\tau$ of light and electric group delay difference ΔT cause with error. Although it is set to $\Delta\tau \gg \Delta T$ and the effect of ΔT can be disregarded in the case where the measuring beam-ed components 2 are long optical fibers, effect of ΔT cannot be disregarded

in the case where the wavelength dispersion of the measuring beam-ed components 2 is small. There is a problem that the filter which frequency dependent [of this ΔT] was large and stopped frequency dependent conversely with the filter 4 for the especially usual band passes has a possibility that the stable actuation as an oscillation loop formation may be spoiled since the damping property of an inhibition zone falls.

[0016] As other technical problems of the above-mentioned conventional technique, the problem of the accuracy of measurement of the variation of fundamental frequency is mentioned. For example, when an optical fiber with a die length of 100m is considered as measuring beam-ed components 2, fundamental frequency is about several MHz. In a frequency counter available now, measurement with a precision of 1Hz is also possible for the frequency variation in this frequency band. However, equalizing the data which covered the long time and were measured from the effect of an electric noise etc. in fact in order to measure a frequency in the precision of only this etc. needs to be operated, and, as for complicated-izing of actuation, or long-time-izing of measurement, ** does not have ****.

[0017] Moreover, the problem of adjustment of each part article which constitutes equipment is mentioned as another technical problem of the conventional technique. For example, although there is an approach using the filter 4, the amplifier 5, and amplitude limiter 6 for band passes as one example of the conventional technique, in this case, a passband, an amplification factor, and an amplitude-limiting value will have to be adjusted, and the ease, repeatability, and objectivity of measurement will be spoiled, respectively. Although there is also another example which does not use an amplitude limiter 6, since the filter 4 and amplifier 5 for band passes are required even in this case and equipment with a still more nearly another synthetic vessel etc. is needed, the above-mentioned problem is not solved.

[0018] Furthermore, the straitness of the adjustable range of light wave length is mentioned as another technical problem of the conventional technique. In the example of the conventional technique, semiconductor laser 1 is usually used as the light source. Although the output light of at least two different wavelength is required in order to measure wavelength dispersion, for that purpose, the temperature of semiconductor laser 1 is changed. Although it has the property in which the wavelength of output light also changes if semiconductor laser 1 changes temperature, the adjustable range of wavelength is about about 3-5nm.

[0019] However, in the design of the industrial field for which measurement of wavelength dispersion is needed, for example, an optical transmission system, it will be necessary to cover the wavelength range of 50-100nm, and to measure wavelength dispersion in the present condition. Although the tunable laser to which the wavelength range only of this can be covered and output light can be changed is also recognizing existence, the price is very high and cannot say that it is general.

[0020]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, the following configurations were adopted in this invention. In addition, the sign adopted with the gestalt of operation is used. The summary of this invention is alternatively equipped with the mode locking ring laser which can be oscillated on at least two kinds of known wavelength. It is the wavelength dispersion measuring device of the optical components for measuring the wavelength dispersion property of the measuring beam-ed components 2 by inserting the measuring beam-ed components 2 into the ring of this mode locking ring laser. 1st means 3 and 15 to be connected to the ring and to detect a mode locking oscillation, It has the 2nd means 10 and 14 for detecting the repeat frequency of the pulse of a mode locking oscillation. At least two kinds of aforementioned known wavelength, It is the wavelength dispersion measuring device of the optical components using the mode locking ring laser characterized by calculating the wavelength dispersion property of the measuring beam-ed components concerned based on at least two kinds of frequencies detected with said 2nd means respectively corresponding to at least two kinds of aforementioned known wavelength.

[0021] That is, the wavelength dispersion property of the measuring beam-ed components 2 is searched for by inserting the measuring beam-ed components 2 into the ring of the mode locking ring laser equipped with the wavelength selection means, and measuring the dependency over the wavelength of the repeat frequency of the pulse when carrying out a mode locking oscillation.

[0022] In addition, when the measuring beam-ed components 2 consist of optical components of two or more classes like an optical isolator, the definition of the wavelength dispersion which is an amount per unit length may be inconvenient to the expression of the distributed property of measuring beam-ed components. Therefore, on these specifications, the wavelength differential of the group delay difference of an optical entire component is defined as all variance, and is used. That is, it is (4) when all variance is set to $\Delta\tau$. A formula is used and it is (7) in approximation. It is expressed with a formula.

$Da \cdot \Delta \tau / \Delta \lambda = -\Delta f / (f^2 \Delta \lambda) \quad (7)$ [0023]

[Embodiment of the Invention] The gestalt of operation of the wavelength dispersion measuring device of the optical components using the mode locking ring laser in this invention is explained below. In measurement of the wavelength dispersion property of optical components, using mode locking ring laser, this invention explains the concept of ring laser and mode locking ring laser first, and explains each component below.

[0024] If constitute the ring which returns the output of an optical amplifier to the input of an optical amplitude machine, an optical amplifier is made to drive and a part of output is taken out, the same optical output as the usual laser will be obtained. This is because it is amplified to the output limitation of an optical amplifier while light like a noise called the spontaneous emission light which an optical amplifier emits goes a ring around so to speak. Thus, the constituted equipment is called ring laser.

[0025] The oscillation wavelength of the above-mentioned ring laser is being fixed to the wavelength to which the magnification effectiveness of an optical amplifier becomes the highest. What is necessary is just to establish a wavelength selection means into the above-mentioned ring, in order to give a wavelength selection function to ring laser. If it carries out like this, laser output light will be obtained on the wavelength to which magnification effectiveness becomes the highest as an optical amplifier and a wavelength selection means being total. As a wavelength selection means, a wavelength good light variation filter is usually used. Thus, although the constituted equipment is also called ring laser, it is wavelength adjustable ring laser strictly.

[0026] the frequency (henceforth fundamental frequency) in which an optical modulator or a non-linear optics medium is formed into the ring of the above-mentioned ring laser (wavelength adjustable ring laser is included), and light goes a ring around — or if a modulation is given on the frequency of the integral multiple, a pulse train-like optical output will be obtained. Mode locking ring laser, a call, and this oscillation condition are called a mode locking oscillation for such equipment.

[0027] Here, the relation between a mode locking oscillation and a light pulse train is explained using drawing 2. Drawing 2 (a) shows the light pulse train wave in a time domain, an axis of ordinate is luminous intensity and an axis of abscissa is time amount. Moreover, drawing 2 (b) shows the Fourier transform of said light pulse train, an axis of ordinate is the power of light and an axis of abscissa is optical frequency.

[0028] The Fourier transform of a light pulse train has the form where the light of fixed modulation frequency spacing called a sideband wave (mode) to the surroundings of the optical frequency which takes the lead is regularly located in a line as shown in drawing 2 (b). Moreover, the phase in each mode is maintaining fixed relation. In addition, modulation frequency is in agreement with the repeat frequency of the light pulse train seen in the time domain.

[0029] By the way, since the wave and the Fourier transform (topology was included) of a time domain have the relation of 1 to 1, in the optical frequency field, many modes are generated around a certain main optical frequency, and if the phase between those modes is made to fix so that fixed relation may be maintained, and the light is seen in a time domain, it is a light pulse train. This is a mode locking oscillation. In order to realize a mode locking oscillation — fundamental frequency — or what is necessary is just to modulate light on the frequency of the integral multiple

[0030] Mode locking ring laser is further divided roughly into active mold mode locking ring laser and passive mold mode locking ring laser. The difference between an active mold and a passive mold is a difference in whether an optical modulator is used as equipment for a modulation, or a non-linear optics medium is used, and is mentioned later for details.

[0031] Moreover, theoretically, as for the light transmitted in the inside of the ring, both right-handed rotation and left-handed rotation can exist in coincidence by the ring laser itself. Mode locking ring laser is usually widely used as a means to acquire a light pulse train. However, in this invention, mode locking ring laser is used as equipment which gets to know fundamental frequency. Although a wavelength selection means is not necessarily required for the usual mode locking ring laser, since it is necessary to carry out a mode locking oscillation alternatively on at least two kinds of wavelength, in this invention, the wavelength selection means for it is an indispensable component. Moreover, in this invention, measuring beam-ed components need to be inserted into the ring of mode locking ring laser.

[0032] Hereafter, each equipment which constitutes mode locking ring laser using drawing 1 is explained. The wavelength and the phase of light as which the optical amplifier 11 was inputted are equipment which amplifies the amplitude 1000 times from about 10 times, maintaining. With the present technical level, an optical amplifier 11 is divided roughly and has two kinds, fiber amplifier and semi-conductor amplifier.

[0033] Fiber amplifier is what added rare earth elements to the usual optical fiber, and has the operation which makes the amplitude of input light amplify by supplying the light of the specific wavelength called

excitation light. Although it depends for an amplification factor on the excitation intensity of light, it is also possible to obtain the amplification factor of 1000 times or more. Although the wavelength band of input light where a magnification operation is acquired is based also on the rare earth elements added, generally it is about 50nm.

[0034] On the other hand, semi-conductor amplifier is what vapor-deposited the nonreflective film to the both-ends side of the usual semiconductor laser, and has the operation which makes the amplitude of input light amplify by supplying an exciting current. Generally an amplification factor is about 10 to 50 times, although it is dependent on an exciting current. However, generally the band where a magnification operation is acquired is large to about 100nm and fiber amplifier.

[0035] In this invention, if it has the operation which amplifies light as well as fiber amplifier and semi-conductor amplifier as an optical amplifier 11 of mode locking ring laser, all can be used.

[0036] In this invention, the method which asks for wavelength dispersion from the fundamental frequency f to a certain wavelength λ and it, wavelength $\lambda + \Delta\lambda$ after change, and fundamental-frequency $f + \Delta f$ to it is adopted. Therefore, it is needed for mode locking ring laser to oscillate alternatively on at least two kinds of known wavelength.

[0037] As this wavelength selection means, the wavelength good light variation filter 12 is usually used. An optical filter is equipment which only the light of a specific wavelength band is passed, and it absorbs or reflects [equipment] and does not pass other light. There are some which an operating personnel controls by a thing, a personal computer, etc. to which a dial etc. is moved manually electrically as an optional feature of a passband. About 1-3nm is suitable for bandwidth. The light of desired wavelength can be obtained by using this wavelength good light variation filter 12 combining an optical amplifier 11.

[0038] Moreover, since what is necessary is just to be able to set up at least two kinds of wavelength alternatively in the measurement purpose of this invention, even if it prepares at least two kinds of optical filters with which it was not restricted to the wavelength good light variation filter 12, but the passband was fixed (a passband presupposes that it differs mutually) and prepares a means which changes them with a switch etc., it is available as a wavelength selection means. In drawing 1, the wavelength good light variation filter is used as a wavelength selection means.

[0039] With the wavelength good light variation filter 12 which is a wavelength selection means, a means to usually get to know the main wavelength of the passband set up is prepared, and it is used in the example mentioned later as oscillation wavelength of a mode locking oscillation of the wavelength obtained with this means. What is necessary is to branch a part of output light and just to measure oscillation wavelength with a wavemeter (not shown), in order to know oscillation wavelength to high degree of accuracy more when a means to get to know the main wavelength of a passband is not prepared for the wavelength good light variation filter 12 or.

[0040] An optical modulator is equipment to which the luminous intensity which passes it, a frequency, or a phase is changed, and is distinguished from a modulator on the strength, a frequency modulator, and a phase modulator, respectively. Especially in order to constitute mode locking ring laser, a modulator on the strength and a phase modulator are useful. In drawing 1, the modulator 13 on the strength is used as an optical modulator.

[0041] The mode locking ring laser using the modulator 13 on the strength [these] or a phase modulator is called active mold mode locking ring laser. In active mold mode locking ring laser, the source of a signal of the exterior which supplies a modulating signal is required for a modulator. Being required of the source of a signal are that a sinusoidal signal is outputted and that the frequency is adjustable. In addition, such an item is not especially special and is available. [of a common signal generator] When the frequency of a sinusoidal signal is the fundamental frequency of a ring, or its integral multiple, a mode locking oscillation arises.

[0042] The mode locking ring laser which used the non-linear optics medium instead of the optical modulator is called passive mold mode locking ring laser. A non-linear optics medium means the medium from which properties, such as absorption and a refractive index, change with the passing luminous intensities. Since intensity modulation or a phase modulation arises automatically according to pulse shape in case a light pulse passes such a medium, the same effectiveness as the optical modulator in active mold mode locking ring laser is acquired.

[0043] Since a light pulse modulates itself in passive mold mode locking ring laser, the modulating signal of the exterior required of active mold mode locking ring laser is unnecessary in passive mold mode locking ring laser. In addition, the repeat frequency of a light pulse train is automatically in agreement with the fundamental frequency of a ring in this case.

[0044] Most generally as a non-linear optics medium, a saturable absorber is used. A saturable absorber

means the matter in which the property in which an absorption coefficient becomes small when the luminous intensity which carries out incidence becomes to some extent large (it is said in this that absorption is saturated), and permeability becomes large is shown, and equipment. For example, it can be used as a saturable absorber by holding down the exciting current of optical semi-conductor amplifier to below the current value from which a magnification operation is acquired. The time of a light pulse passing a saturable absorber is considered. A light pulse carries out incidence, absorption is large for the time being, and the passing luminous intensity is small. Next, if a light pulse approaches the maximum reinforcement, absorption will be saturated and the passing luminous intensity will increase rapidly. When a light pulse starts to decrease from the maximum reinforcement, effectiveness contrary to this arises and the passing luminous intensity decreases rapidly.

[0045] Therefore, the light pulse which passed as a result is a sharp pulse with narrow width of face compared with passage before. This brings about the same effectiveness as the case where the modulator 13 on the strength is used as an optical modulator in active mold mode locking ring laser. In addition, the concrete configuration of the equipment using passive mold mode locking ring laser is mentioned later.

[0046] As measuring beam-ed components 2 inserted into the ring of mode locking ring laser, if light passes theoretically, anythings are measurable. Especially this invention demonstrates a predominance fundamentally about measurement of the wavelength dispersion of the small thing of true length or an actual size. Specifically, an optical fiber 100m or less, a lens, optical amplifier, an optical modulator, an optical filter, a polarizer, etc. are mentioned.

[0047] Now, in order to make it join together so that the ring which light goes around by the modulator 13 on the strength or non-linear optics medium which is the optical amplifier 11 described above, the wavelength good light variation filter 12 which is a wavelength selection means, and an optical modulator may be made, an optical fiber may be used and space association may be carried out using a lens, a mirror, etc.

[0048] Moreover, arrangement in the sequence of arbitration is theoretically [including the measuring beam-ed components 2 inserted into this ring] possible for each arrangement. However, depending on the property of each of each component, the optimal arrangement may exist in fact. For example, since spontaneous emission light is generally added to the output of an optical amplifier 11, it is desirable to connect the wavelength good light variation filter 12 which is a wavelength selection means immediately after an optical amplifier 11. Moreover, it is desirable to compare the measuring beam-ed components 2 with the modulator 13 (or non-linear optics medium) on the strength which is an optical modulator immediately after the wavelength good light variation filter 12 which is a wavelength selection means, if there are no other conditions, and to connect the larger one of a maximum-permissible light input in it.

[0049] As stated above, it has alternatively the mode locking ring laser which can be oscillated on at least two kinds of known wavelength, and the measuring beam-ed components 2 which are the measuring object are inserted into the ring of mode locking ring laser. The equipment which measures a wavelength dispersion property is completed by connecting 1st means to detect a mode locking oscillation in this configuration, and the 2nd means for detecting the repeat frequency of the pulse of a mode locking oscillation.

[0050] It explains using drawing 1 succeedingly. Drawing 1 is the example which used active mold mode locking ring laser as mode locking ring laser. As mentioned above, the wavelength good light variation filter 12 is used as a wavelength selection means. Moreover, the modulator 13 on the strength is used as an optical modulator.

[0051] The 2nd means for detecting the repeat frequency of the approach of detecting fundamental frequency, i.e., the pulse of a mode locking oscillation, using the property of a mode locking oscillation is explained.

[0052] Two kinds of the approach exists in the case where active mold mode locking ring laser is used. They are the 1st approach of measuring the repeat frequency of the pulse of a mode locking oscillation, i.e., the repeat frequency of an output light pulse, and the 2nd method of investigating the modulation frequency of an optical modulator. Since the repeat frequency of an output light pulse and the modulation frequency of an optical modulator are completely in agreement and both give the same result, it is synonymous with measuring a repeat frequency to investigate modulation frequency.

[0053] The 1st approach of measuring the repeat frequency of an output light pulse can be applied also when the passive mold mode locking ring laser which used the non-linear optics medium instead of the optical modulator is used, and it can be said at this point that it is a more general approach.

[0054] On the other hand, although the application is limited to the example of use of active mold mode locking ring laser, since the 2nd method of investigating the modulation frequency of an optical modulator

does not need special additional equipment, it states the 2nd approach, i.e., the method of investigating the modulation frequency of an optical modulator, by explanation of drawing 1 succeedingly.

[0055] By the approach of investigating the modulation frequency of the modulator 13 on the strength which is an optical modulator, although a signal generator 14 is premised on having a means to detect the frequency of the signal currently outputted at the time in the external source of a signal, and the example of drawing 1, the usual source of a signal is ordinarily equipped with such a means. Therefore, in the example of drawing 1, it is the 2nd means for a signal generator 14 to detect the repeat frequency of the pulse of a mode locking oscillation. If it can check carrying out the mode locking oscillation with a means which adjusts signal frequency and is later expressed at this time, the signal frequency of the source of a signal at that time will be the modulation frequency of an optical modulator, and this frequency will be the fundamental frequency of mode locking ring laser, or its integral multiple again. The difference will be fundamental frequency, if modulation frequency is changed further and one $n+1$ time or $n-1$ time the modulation frequency of this is investigated, when modulation frequency is the integral multiple (they may be n times) of fundamental frequency. In this way, the obtained fundamental frequency is (1). It is exactly f of a formula.

[0056] Hereafter, 1st means to detect a mode locking oscillation is explained. Usually, the oscilloscope 15 connected to an optical detector 3 and it is used. However, there are various things also in this means and it is not necessarily limited to the following examples.

[0057] 1st means to detect a mode locking oscillation is connected to the ring which consists of saturable absorbers which are the modulator 13 on the strength or non-linear optics medium which is an optical amplifier 11, the wavelength good light variation filter 12 which is a wavelength selection means, the measuring beam-ed components 2, and an optical modulator. And a part is taken out and the light in this ring is led to an optical detector 3. In order to take out light from a ring in part, when it joins together with an optical fiber, in space association of an optical coupler, a half mirror, a beam splitter, etc. can be used (not shown). The output signal of an optical detector 3 is observed with the usual oscilloscope 15 etc. Since the above-mentioned output signal turns into a pulse signal corresponding to a light pulse train while carrying out the mode locking oscillation, it can distinguish easily.

[0058] Although not needed with what needs an external trigger signal, there are two kinds of oscilloscopes 15. Since a signal generator 14 exists as an external source of a signal in active mold mode locking ring laser, this signal can be used as an external trigger signal. It is the example which used the oscilloscope 15 of the class which needs an external trigger signal in the example of drawing 1.

[0059] Moreover, direct observation of whether used the streak camera and the light pulse train has occurred may be carried out as other means to detect a mode locking oscillation, instead of using an optical detector 3 and an oscilloscope 15 (not shown).

[0060]

[Example] Hereafter, the concrete example of the wavelength dispersion measuring device of the optical components using the mode locking ring laser in this invention is explained.

(The 1st example) The 1st example for measuring fundamental frequency still with high precision as compared with the measuring device of drawing 1 is shown in drawing 3.

[0061] In the 1st example, as shown in drawing 3, a part of output signal of an optical detector 3 is branched, and it leads to a power meter 17 through a low pass filter 16. about [which is the frequency to which the passband of a low pass filter 16 is called the relaxation oscillation frequency of an optical amplifier 11] — it sets up so that several 10kHz may be passed. It is known that the low-pass power measured with a power meter 17 will become min at the time of a perfect mode locking oscillation (the stabilization process of the mode locking Er addition fiber laser by relaxation oscillation frequency component oppression besides Takayoshi, the 1995 Institute of Electronics, Information and Communication Engineers synthesis convention, B-1156). In this way, if modulation frequency is adjusted so that it may be in the condition of a perfect mode locking oscillation, fundamental frequency can be easily measured in the precision of 1Hz. In addition, the configuration of others of drawing 3 is completely the same as that of the measuring device of drawing 1.

[0062] As you explained above, suppose that the fundamental frequency f corresponding to a certain light wave length λ was measured. Next, the wavelength of the light which goes the inside of a ring around is changed to $\lambda + \Delta\lambda$ with a wavelength selection means. By the same principle as the measuring method in the conventional technique, if wavelength dispersion is in the measuring beam-ed components 2, the light wave length of the measuring beam-ed components 2 will change, and fundamental frequency will change. if fundamental-frequency $f + \Delta f$ which changed is measured — the following and conventional technique — the same — carrying out — (5) All variance or (7) types — is calculated for

wavelength dispersion by the formula.

[0063] That is, the wavelength dispersion property of the measuring beam-ed components 2 can be searched for from the frequency corresponding to the class of wavelength detected by the 2nd means for detecting the repeat frequency of the pulse of a mode locking oscillation corresponding to at least two kinds of known wavelength, and two kinds of such known wavelength.

[0064] Here, it is (4). Group delay difference τ_M obtained by the formula is group delay difference τ_M only by the measuring beam-ed components 2. Group delay difference τ_L by mode locking ring laser component parts other than measuring beam-ed components It is the sum and is this group delay difference τ_L . It becomes a measurement error. Therefore, the next proofreading is carried out to stricter measurement.

[0065] The incidence edge and outgoing radiation edge of the measuring beam-ed components 2 are combined, the mode locking ring laser except the non-measuring beam components 2 is constituted, and the same measurement as the above is performed. (4) at this time the value acquired by the formula — τ_L it is — therefore, τ to this τ_L obtained when measuring beam-ed components were actually inserted deducting — τ_M It asks. τ_M and (5) From a formula, the wavelength dispersion of only the measuring beam-ed components 2 is obtained.

[0066] In addition, even if it short-circuits the incidence edge and outgoing end of non-measuring beam components similarly in the conventional technique, since a frequency becomes high repeatedly from the time of original measurement when the whole optical length became short, the group delay property of an electrical circuit cannot be proofread.

[0067] By the way, as the item of the conventional technique also described, wavelength dispersion is mathematically expressed with the differential to the wavelength of a group delay difference. Although a measuring method of wavelength dispersion with which this amount of differential is obtained directly also exists and that approach may be used, with the gestalt of operation of this invention, a group delay difference is measured directly. the approximate expression with which the approach described so far replaced the differential to the wavelength of a group delay difference to difference — and it is the approach of asking for wavelength dispersion only from the measurement in two kinds of different wavelength.

[0068] However, if the number of the wavelength which measures a group delay difference (or fundamental frequency) is made [more] than two kinds and the fundamental frequency corresponding to each wavelength is measured, respectively, an approximate precision will improve. for example, 3 kinds of wavelength λ_1 — λ_2 , λ_3 , and λ_4 — respectively — corresponding — fundamental frequency — f_1 , f_2 , and f_3 Suppose that it was measured. Wavelength dispersion D of the measuring beam-ed components 2 in wavelength λ if 3 sets of these measured value is approximated with a secondary function $D = (f_3 - f_1) / (2\lambda_3 - \lambda_1 - \lambda_2)$ — (8) It is calculated. Moreover, all the variance ΔD is (7). It corresponds to a formula. $\Delta D = (f_3 - f_1) / (2\lambda_3 - \lambda_1 - \lambda_2)$ — (9) It is calculated.

[0069] In addition, (5) in case there is 2 sets of measurement An equation or (7) An equation and (8) in case there is 3 sets of measurement An equation or (9) Although the method which an operating personnel calculates after measurement is sufficient as a means to calculate wavelength dispersion or all variance by the equation and the formula corresponding to it in case there is much measurement further, naturally including in a measuring device is also possible.

[0070] (The 2nd example) Drawing 4 is the 2nd example of the wavelength dispersion measuring device of the optical components which used the mode locking ring laser of a passive mold.

[0071] In this 2nd example, the saturable absorber 18 is used as a non-linear optics medium. Since an external trigger signal cannot be used when using an oscilloscope 15 as 1st means to detect a mode locking oscillation, it is necessary to use the oscilloscope 15 of the class which does not need an external trigger signal.

[0072] Moreover, as the 2nd means for detecting the repeat frequency of the pulse of a mode locking oscillation, i.e., a means to measure fundamental frequency, it carries out by the approach of measuring the repeat frequency of an output light pulse. For that purpose, after changing a light pulse train into an electrical signal with an optical detector 3, while making it dichotomize and observing a wave in oscilloscope 15 grade, the repeat frequency of an electric pulse train is measured using frequency counter 10 grade. This repeat frequency is in agreement with the fundamental frequency of the ring of mode locking ring laser as mentioned above. The count approach of modification of the following and wavelength and wavelength dispersion is the same as the explanation in the gestalt and the 1st example of operation.

[0073]

[Effect of the Invention] In the wavelength dispersion measuring device of the optical components using the mode locking ring laser of this invention, since the part which constitutes a ring was constituted only from light, the error by the frequency response characteristic of the electrical signal in the optical detector 3 in the conventional technique, the filter 4 for band passes, amplifier 5, and an amplitude limiter 6, especially the dependency over the frequency of a group delay is not generated.

[0074] Although optical components, such as the wavelength good light variation filter 12 and the modulator 13 on the strength, are added and it may have the wavelength dispersion property which cannot be disregarded in these measuring to the conventional technique in this invention, if the procedure currently explained by the term of proofreading in that case is followed, the strict wavelength dispersion of only the measuring beam-ed components 2 will be called for. On the other hand, it is very difficult to avoid the problem of the frequency response characteristic of an electrical signal with the conventional technique.

[0075] Next, the modulation frequency of mode locking ring laser is very sensitive to the fundamental frequency of the circumference of light. If the above means are used, it is easy to measure frequency variation Δf in the precision of 1Hz. In order for the conventional technique to attain the comparable accuracy of measurement, technique, such as equalization of much measured value, had to be used and measurement had taken time amount. In this invention, such highly precise measurement can be easily performed in a short time.

[0076] Moreover, it also has another effectiveness by this invention being a method which makes all ring parts go around with light. That is, adjustment of each part article of the electric section which was the technical problem of the conventional technique becomes unnecessary, and the ease and objectivity of measurement are increasing.

[0077] Furthermore, in this invention, it has the effectiveness that the adjustable range of light wave length is wide, to the conventional technique by using the optical amplifier 11. If it combines with a suitable optical filter as described by explanation of an optical amplifier 11, the adjustable range of 50-100nm light wave length will be obtained. It can be said that this property is sufficient adjustable range in the design of an optical transmission system etc. Also about the photoelectrical force which carries out incidence to the measuring beam-ed components 2, it can change by adjusting the gain of an optical amplifier 11, and measurement in the form near a more nearly actual service condition is possible.

[0078] Naturally measurement of group delay frequency characteristics is also possible. That is, it is (4) by measuring fundamental frequency f and $f + \Delta f$ in at least two different wavelength. A group delay difference is calculated from a formula. The effectiveness over the conventional technique in group-delay measurement can point out the same point as the effectiveness over the conventional technique of this invention in wavelength dispersion measurement.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing the wavelength dispersion measuring device of the optical components using the mode locking ring laser concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 2] It is drawing for explaining the relation between a mode locking oscillation and a light pulse train.

[Drawing 3] It is drawing showing the wavelength dispersion measuring device of the optical components concerning the 1st example which can realize high precision measurement of the fundamental frequency in this invention. It is drawing showing an example.

[Drawing 4] It is drawing showing the wavelength dispersion measuring device of the optical components using the mode locking ring laser concerning the 2nd example using the mode locking ring laser of the passive mold in this invention.

[Drawing 5] It is drawing showing the wavelength dispersion measuring device of the conventional optical components.

[Description of Notations]

2 Measuring Beam-ed Components

3 Optical Detector

10 Frequency Counter

11 Optical Amplifier

12 Wavelength Good Light Variation Filter

13 Modulator on the Strength

14 Signal Generator

15 Oscilloscope

16 Low Pass Filter

17 Power Meter

18 Saturable Absorber

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

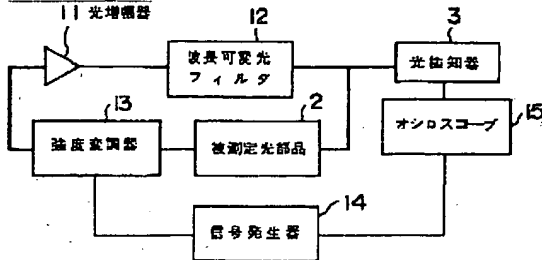
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

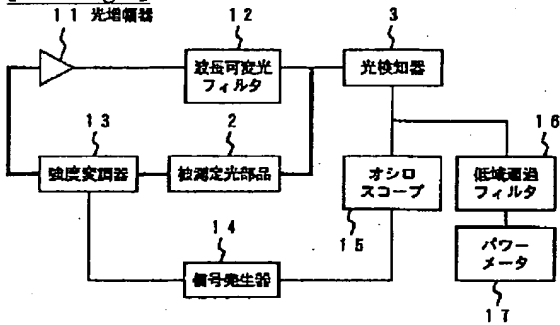
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

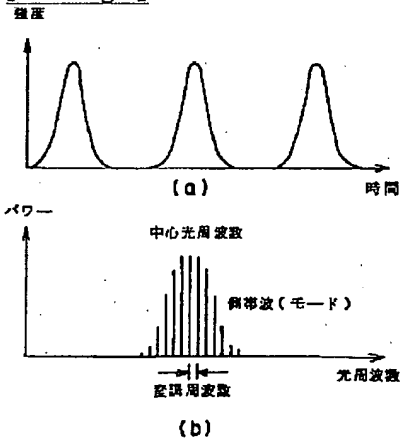
[Drawing 1]



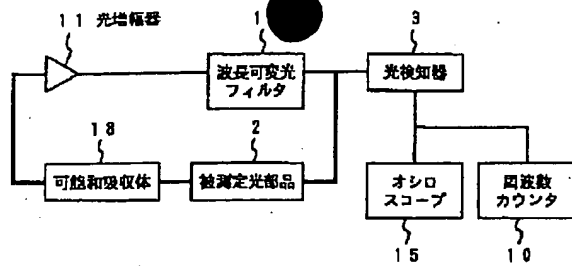
[Drawing 3]



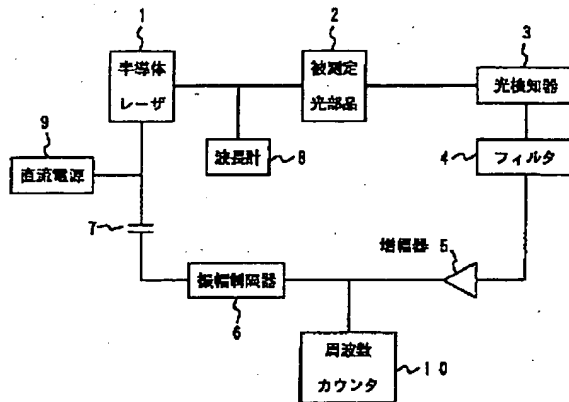
[Drawing 2]



[Drawing 4]



[Drawing 5]



[Translation done.]